

(19)日本国特許庁(JP)

## (12)公表特許公報 (A)

(11)特許出願公表番号

特表 2002-525647

(P 2002-525647A)

(43)公表日 平成14年8月13日(2002.8.13)

(51)Int. Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マ-ト*(参考)
G 0 2 B	6/17	G 0 2 B	6/10 C 2H050
	6/10	G 0 2 F	1/365 2K002
G 0 2 F	1/365	G 0 2 B	6/16 3 0 1 5K002
H 0 4 B	10/16	H 0 4 B	9/00 J
	10/17		

審査請求 未請求 予備審査請求 有

(全35頁)

(21)出願番号 特願2000-570619(P2000-570619)  
 (86)(22)出願日 平成11年9月7日(1999.9.7)  
 (85)翻訳文提出日 平成13年3月19日(2001.3.19)  
 (86)国際出願番号 PCT/US99/20473  
 (87)国際公開番号 WO00/16139  
 (87)国際公開日 平成12年3月23日(2000.3.23)  
 (31)優先権主張番号 60/100,757  
 (32)優先日 平成10年9月17日(1998.9.17)  
 (33)優先権主張国 米国 (U S)

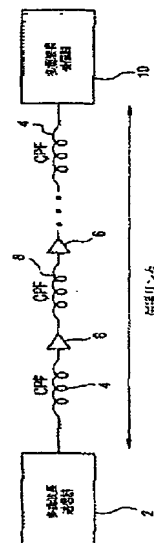
(71)出願人 コーニング インコーポレイテッド  
 アメリカ合衆国 ニューヨーク州 14831  
 コーニング リヴァーフロント プラザ  
 1  
 (71)出願人 ザ リージェンツ オブ ザ ユニヴァー  
 シティー オブ ミシガン  
 アメリカ合衆国 ミシガン州 48109 ア  
 ン アーバー サウス ステイト ストリ  
 ート 3003  
 (74)代理人 弁理士 柳田 征史 (外1名)

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光回路の円偏光ファイバ

## (57)【要約】

円偏光単一モード導波路ファイバ(CPF)及びこのファイバを用いる高データレート多重化通信システム。円偏光導波路ファイバはそのような高性能伝送リンクに存在する非線形効果を弱める。特に、自己位相変調が30%超まで低減され、4光波混合は本質的に排除される。隣接するファイバが互いに逆まわりの円偏光を有するように配置された複数本の円偏光導波路ファイバから多重化リンクがつくられている場合には4光波混合が生じないから、後者の効果は生じない。円偏光ファイバは、伝送リンクに付帯する光スイッチング素子に利用できる特性である、相互位相変調(XPM)の非線形効果を弱める。さらに、CPFにおけるXPMの大きさは、信号パルス及び制御パルスの相対偏光状態に依存しない。



BEST AVAILABLE COPY

**【特許請求の範囲】**

**【請求項1】** 円偏光単一モード光導波路ファイバにおいて：

クラッド層に囲まれ、前記クラッド層に接するコア領域；前記コア領域及び前記クラッド層は光を導くような形状につくられたそれぞれの屈折プロファイルを有する；

を含み：

前記円偏光単一モード導波路ファイバが複屈折及び前記導波路ファイバの長さに沿う軸ツイストを有し、前記導波路ファイバのビート長が前記軸ツイストのピッチより大きいことを特徴とする単一モード導波路ファイバ。

**【請求項2】** 前記複屈折が速い軸と遅い軸との間の屈折率差 $\Delta n$ として表され、前記 $\Delta n$ が約 $10^{-5}$ であることを特徴とする請求項1記載の単一モード導波路ファイバ。

**【請求項3】** 前記複屈折を与えるために前記コア領域の断面形状が楕円であることを特徴とする請求項1記載の単一モード導波路ファイバ。

**【請求項4】** 前記複屈折を与えるために半径方向に向けられた非対称の応力が前記コア領域に加えられることを特徴とする請求項1記載の単一モード導波路ファイバ。

**【請求項5】** 前記軸ツイストの前記ピッチが前記導波路に沿う前もって選ばれた長さの間隔をもって右回りから左回りに変わることを特徴とする請求項1記載の単一モード導波路ファイバ。

**【請求項6】** 多重化光信号を伝送するための光伝送リンクにおいて：

あるビート長及びその長さに沿う軸ツイストを有する第1の円偏光単一モード光導波路ファイバ；前記軸ツイストの前記ピッチは前記ビート長より短く、前記ピッチは前記ファイバの長さに沿って右回りかまたは左回りのいずれかである；

前記第1の円偏光導波路ファイバに複数の光信号を投射するために前記第1の円偏光導波路ファイバに光結合された、光信号を生成するための、送信器モジュール；前記複数の光信号のそれぞれは一意の波長を有する；

互いに末端と末端で順次光結合された、追加の複数本の円偏光単一モード光導波路ファイバ；前記追加の複数本の円偏光ファイバの内の1本は前記第1の円偏

光導波路ファイバに光結合される；ここで、前記追加の複数本の円偏光導波路ファイバはそれぞれのビート長及びそれぞれの長さに沿う軸ツイストを有し、前記追加の複数本のファイバのそれぞれにおいて前記軸ツイストの前記ピッチは前記ビート長より短く、それぞれの前記ピッチは前記ファイバの長さに沿って右回りでも左回りでもある；及び

前記追加の複数本の円偏光導波路ファイバの連鎖の最後の円偏光導波路ファイバに光結合された、前記複数の光信号を受け取るための、受信器モジュール；前記信号はそれぞれの波長にしたがって分離される；  
を含むことを特徴とする光伝送リンク。

【請求項7】 前記円偏光導波路ファイバの内の2本の間に挿入されて光結合された少なくとも1台の光増幅器をさらに含むことを特徴とする請求項6記載の光伝送リンク。

【請求項8】 前記円偏光導波路ファイバの連鎖の全ての対の間に挿入されて光結合された少なくとも1台の光増幅器をさらに含むことを特徴とする請求項6記載の光伝送リンク。

【請求項9】 前記送信器モジュールは、それぞれが直線偏光を有し、N本の信号チャネルを与えるための一意の波長を有する、N個の光源を含む；

N個の入力ポート及び少なくとも1個の出力ポートを有するWDMを含む；

前記N個の光源のそれぞれを前記N個のWDM入力ポートのそれぞれの1つに光結合するためのN本の光ファイバを含む；

N/2個の半波長リターダを含む；前記半波長リターダのそれぞれの1つは、隣接する導波路チャネルが互いに直交する直線偏光を有するように前記N本の信号チャネルの1本おきに配置されて直列に光結合される；及び

前記それぞれのチャネルの前記信号の前記直線偏光を円偏光に変えるための、前記少なくとも1個のWDM出力ポートから前記光伝送リンクの前記第1の円偏光導波路ファイバへの4分の1波長板を介した光結合を含む；  
ことを特徴とする請求項6記載の光伝送リンク。

【請求項10】 前記送信器モジュールはそれぞれが一意の波長を有するN個の光源を含む；及び：

N個の入力ポート及び少なくとも1個の出力ポートを有するWDM；  
前記N個の光源のそれぞれを前記N個のWDM入力ポートのそれぞれの1つに  
光結合するためのN本の光ファイバ；及び  
それぞれが前記N本の光ファイバのそれぞれの1本と直列に配置されて光結合  
されたN個の4分の1波長リターダ；  
を含み；  
隣接する信号波長チャネルの前記4分の1波長リターダの速い軸が互いに直交  
する；及び  
前記少なくとも1個のWDM出力ポートから前記光伝送リンクの前記第1の円  
偏光導波路ファイバへの光結合を含む；  
ことを特徴とする請求項6記載の光伝送リンク。

【請求項11】 前記受信器モジュールが少なくとも1個の入力ポート及び  
N個の出力ポートを有するWDMデマルチプレクサを含む；前記少なくとも1個  
の入力ポートは円偏光ファイバの前記連鎖の最後の円偏光ファイバに光結合され  
る；及び

それぞれが第1及び第2の末端を有する第1の組のN本の導波路ファイバ；前  
記N本の導波路ファイバのそれぞれの前記第1の末端は前記WDMデマルチプレ  
クサの前記N個の出力ポートのそれぞれの1つに光結合される；

それぞれが前記N個の信号波長のそれぞれの1つを通過させる、前記N本の導  
波路ファイバのそれぞれの1本に光結合されたN個のフィルタ；

前記N個の信号のそれぞれの1つを受け取るためのN台の受信器；及び

前記N個のフィルタのそれぞれの1つと前記N台の受信器のそれぞれの1つと  
の間に光結合された第2の組のN本の導波路ファイバ；  
を含むことを特徴とする請求項6記載の光伝送リンク。

【請求項12】 前記受信器モジュールの前記受信器が偏光感応型であり、  
前記受信器モジュールが：

前記編偏光信号を直線偏光信号に変えるための、前記WDMデマルチプレクサ  
の前記少なくとも1個の入力ポートと円偏光ファイバの前記連鎖の最後の円偏光  
ファイバとの間に直列に配置されて光結合された4分の1波長リターダ；及び

隣接する波長チャネルの前記信号の前記直線偏光が互いに直交するように、それぞれの1つが前記第2の組のN本のファイバの1本おきのそれぞれの1本に直列に配置されて光結合されたN/2個の半波長リターダ；

をさらに含むことを特徴とする請求項1記載の光伝送リンク。

【請求項13】 前記受信器モジュールの前記受信器が偏光感应型であり、前記受信器モジュールが：

それぞれの1つが前記第2の組のN本のファイバのそれぞれの1本に直列に配置されて光結合されたN個の4分の1波長リターダ；隣接する波長チャネルの前記4分の1波長リターダの速い軸の向きは、前記隣接するチャネルの前記信号が互いに逆方向の円偏光となるような向きである；

をさらに含むことを特徴とする請求項1記載の光伝送路。

【請求項14】 請求項6記載の伝送リンクに用いるための光スイッチにおいて：

前記伝送リンクを伝搬する1つ以上の光信号のそれぞれの位相をシフトするための、前記伝送リンクの円偏光導波路ファイバに光結合された1つ以上の光位相シフト回路；

を含み：

相互位相変調により前記光信号の前記位相を変えるために制御信号が用いられる；及び

前記相互位相変調がある長さの円偏光導波路ファイバでおこる；  
ことを特徴とする光スイッチ。

【請求項15】 前記位相シフト回路が、前記相互位相変調がおこる前記前記円偏光導波路ファイバ長内の前記制御信号及び前記光信号の伝搬に先だって前記制御信号及び前記光信号に円偏光を付与するための手段をさらに含むことを特徴とする請求項14記載の光スイッチ。

【請求項16】 前記位相シフト回路が、前記光信号は通過させ、前記制御信号は反射するかまたは吸収するための手段をさらに含むことを特徴とする請求項14記載の光スイッチ。

【請求項17】 前記位相シフト回路が非線形光ループミラーを含み、前記

非線形光ループミラーの少なくとも一部に前記相互位相変調をおこさせるための円偏光ファイバを有することを特徴とする請求項15または16記載の光スイッチ。

【請求項18】 第1の偏光感应型WDM結合器が前記非線形光ループミラーに前記制御パルスを挿入するために用いられ、第2の偏光感应型WDM結合器が前記非線形光ループミラーから前記制御パルスを抜き取るために用いられることを特徴とする請求項17記載の光スイッチ。

【請求項19】 前記位相シフト回路が：

前記制御パルスを伝搬し、前記制御パルスの偏光状態を制御するための制御パルスリンク；

前記信号パルスを前記制御パルスリンクに結合するための偏光感应型結合器；  
ある相互作用長をもつ円偏光導波路ファイバ；前記相互作用長にかけて前記相互位相変調がおこる；及び

前記信号パルスは通過させ、前記制御パルスは反射するための、前記相互作用長をもつ前記円偏光ファイバの末端に光結合された偏光感应型フィルタ；  
を含むことを特徴とする請求項15または16記載の光スイッチ。

【請求項20】 前記光信号の前記円偏光導波路ファイバにおける前記偏光状態が前記制御信号の前記円偏光導波路ファイバにおける前記偏光状態に対して特定の関係にはないことを特徴とする請求項14記載の光スイッチ。

**【発明の詳細な説明】****【0001】**関連出願の説明

本出願は、1998年9月17日に出願された米国仮特許出願第60/100,757号及び1998年9月22日に出願された米国仮特許出願第60/101,282号の恩典を主張する。

**【0002】**発明の背景1. 発明の分野

本発明は概ね光ファイバ及び光ファイバ成分を用いるシステムに関し、特に円偏光導波路ファイバを含むそのようなシステムに関する。

**【0003】**2. 技術的背景

光波伝送システムに影響を与える光学的非直線性は、2つの概括的なカテゴリーに分けられる。第1のカテゴリーには誘導ブリリュアン散乱及び誘導ラマン散乱のような誘導散乱現象がある。これらの効果は伝送材料における光信号とフォノンの相互作用である。フォノン周波数により、生じる散乱のタイプが定まる。第2のカテゴリーでは、非線形屈折率が3つの効果、自己位相変調（SPM）、相互位相変調（XPM）及び4光波混合（4WM）を生じさせる。長距離／多重波長システムの研究に基づくと、第2のカテゴリーの非線形相互作用は、波長分割多重化（WDM）システム、特に約50kmをこえる間隔で電子式再生中継器を有するWDMシステムに対して最も有害である。この第2のカテゴリーの非線形効果が本出願の課題である。

**【0004】**

SPMにおいては、パルス強度に依存する非線形屈折率により、閾値強度より強いパルスの位相変調がおこる。閾値強度は導波路に用いられる材料に依存するが、一般には10mW程度である。SPMの結果の1つは、信号パルスがファイバを伝搬するにつれて、そのスペクトル幅が徐々に広がることである。導波路のゼロ分散波長近くでの動作に関しては、信号のスペクトル幅拡大はシステム性能

を劣化させない。しかし群速度分散が十分大きければ、SPMによるスペクトル幅拡大はパルスの時間的拡大を生じさせる。あるいは、チャネル間隔が密なWDMシステムにおいては、スペクトル幅拡大が広げられた信号を隣接するチャネルに重なり合わせてそれらのチャネルに出現させるのに十分な大きさであれば、クロストークが生じる。

#### 【0005】

WDMシステムでは、1つのチャネルの強度変動がXPMにより他のチャネルに影響を及ぼし得る。直線偏光ファイバではXPMの効果の大きさを示すXPM係数がSPM係数の約2倍である。XPMはパルス間の相互作用がおこる導波路長に依存し、よって群速度分散によるチャネル間隔の変化（ウォークオフ）は相互作用長、したがってXPM量に影響する。十分長いシステムでは、様々なチャネルの群速度がチャネル間の完全なウォークスルーを生じさせるであろう。すなわち無損失条件の下では、XPMによるスペクトル幅拡大は事実上排除される。

#### 【0006】

4光波混合も非線形屈折率により生じるが、SPM及びXPMとは異なり、4WMには位相整合条件がある。相異なる2つの波長の信号に対して、導波路のビート周波数における強度変調が屈折率を変調し、よって2つの信号の差周波数において位相変調がおこる。したがって、4WMにおいては、側帯周波数が原周波数±差周波数で発生する（低周波数側の側帯はストークス周波数とよばれ、高周波数側の側帯は反ストークス周波数とよばれる）。位相整合条件とは、屈折率または2つの信号波長における屈折率すなわち速度がストークスまたは反ストークス波の屈折率すなわち速度と一致しなければならないことを意味する。したがって、4WMは全分散に強く依存する。高全分散に対しては、相異なる周波数における伝搬速度の差が大きく、4WMの効率は低い。信号波長近くにゼロ分散波長をもつファイバでは、屈折率及び速度が全波長でほぼ一致し、4WM過程の効率が極めて高くなり得る。WDMシステムにおいて、4WMは2つの有害な効果を有する。第1は、信号波長から混合派生波長へのパワーの消耗である。第2に、等間隔信号チャネルを有するシステムにおいては、ストークス及び反ストークス周波数が既存のチャネルと一致し、クロストークを生じさせる。また混合派生周



波数が、信号の相対位相に依存して既存のチャネルと強め合うかまたは弱め合うように干渉し得る。

#### 【0007】

したがって高性能伝送システムにおいては、ゼロ分散波長近くで動作することができ、よって線形分散損失を最小化できるが、それでも非線形効果、特に4WMが制限される、特定のタイプの光導波路ファイバを含むことができるシステム構成が必要とされる。

#### 【0008】

#### 用語の定義

以下の用語は技術上普通の用法にしたがって定義される。

#### 【0009】

—4分の1波長リターダ(QWR)は直線偏光を円偏光に、また円偏光を直線偏光に変換する。効率最適化のため、直線偏光はQWRの速い軸に対し右または左に45°の偏光軸をもってQWRに入射する。

#### 【0010】

—半波長リターダ(HWR)は直線偏光の偏光方向を90°回転させる。効率最適化のため、直線偏光はHWRの速い軸に対し右または左に45°の偏光軸をもってHWRに入射する。HWRは右回りの円偏光(RHC)を左回りの円偏光(LHC)に変換し、またLHCをRHCに変換する。

#### 【0011】

したがって、円偏光単一モードファイバ(CPF)の入力及び出力にQWRを配置すれば、CPFが用いられる用途にいかなる直線偏光光学系も用いることが可能になる。

#### 【0012】

—ファイバQWR及びファイバHWRは、ファイバを互いに逆回りの多くのループに巻くことにより実施される。ファイバHWRは、図7に33で簡略に示される。ファイバがループに巻かれることにより誘起される複屈折が、光の偏光状態を数学的に定める2つの場ベクトルの間の位相遅延を与える。

#### 【0013】

### 発明の概要

本発明の一態様は円偏光単一モードファイバ（ＣＰＦ）である。ＣＰＦは、少なくとも若干の複屈折及びＣＰＦ長に沿って実質的に連続する軸ツイストを有する。軸ツイストのピッチは、ＣＰＦの円偏光効果が直線偏光効果に比して大きくなるように、ＣＰＦのビート長より小さい。ビート長はある与えられた偏光状態の繰返しの間のファイバ長である。

#### 【0014】

ＣＰＦは、光の投射方向がファイバの偏光モードに整合していれば、伝搬する円偏光を円偏光状態に保持することから、そのようによばれる。本出願を通してそのような投射条件になっているとする。ＣＰＦは、ＣＰＦに投射される円偏光の（右回りまたは左回りの円偏光のいずれであっても）円偏光状態を維持する。

#### 【0015】

ＣＰＦの一実施形態において、複屈折の $\Delta n$ は約 $10^{-5}$ であり、ここで $\Delta n$ は導波路の直交する２本の偏光軸における屈折率の差である。技術上既知のいくつかの方法のいずれかにより、複屈折をもたせたファイバをつくることができる。例えば、コアの断面を楕円形にすることができ、あるいは非一様な半径方向応力をコアに印加することができる。

#### 【0016】

ＣＰＦの別の実施形態において、施されるツイストはファイバ長のある部分ではピッチが右回りであり、別の部分ではピッチが左回りである。

#### 【0017】

別の態様において、本発明は高データレート／多重化システムのための光伝送リンクを含む。リンクは、高パワー信号を用いるかあるいは多重波長チャネルを利用するシステムで生じる非線形効果を抑制するためにＣＰＦを利用する。伝送リンクは互いに光結合された複数本のＣＰＦで形成される。リンクの最初のＣＰＦは多重波長送信器モジュールに光結合され、リンクの最後のＣＰＦは多重波長受信器モジュールに光結合される。チャネルを変えるためにピッチを右回りの偏光から左回りの偏光に変えることにより、多重化システムにおいて、信号パワー損失及びチャネル間クロストークを生じさせる非線形効果である、４光波混合が

効率的に排除される。

#### 【0018】

伝送リンクの一実施形態において、所望の信号対雑音比を維持するために1台以上の光増幅器がリンクに光結合される。伝送リンクは局在型または分布型光増幅器を利用でき、増幅器間には適切ないかなる距離もとる得る。

#### 【0019】

送信器モジュールまたは受信器モジュールの所望の構成を含む、本発明の実施形態が以下に論じられる。

#### 【0020】

本発明の別の実施形態において、特定の光スイッチ回路または遅延回路を伝送リンクに付加することができる。これらの回路はいくつかの有用な構成に信号を導くかまたは切り換える能力を伝送リンクに与える。特に、非線形光ループミラー（NOLM）または偏光感応型結合器を用いる偏光制御型システム（PCS）における相互位相変調の使用が以下で詳細に説明される。これらの回路の特徴は、少なくとも制御信号と光信号が相互作用する回路部分にかけてCPFが用いられることである。CPFは2つのパルス間の相互位相変調相互作用を強め、よって用いられる制御パルスのパワーをより小さくするかあるいは用いられるファイバの相互作用長をより短くすることができる。XPMを利用する光成分にCPFを用いることの利点は、XPMが相互作用する信号の円または直線偏光を含む相対的な偏光状態に依存しないことである。XPMの非偏光依存性の恩恵を享受するためには、CPFへの信号の投射は上に開示された投射条件にしたがい、CPFでサポートされる固有モードとするべきである。

#### 【0021】

本発明のさらなる特徴及び利点は以下の詳細な説明で述べられ、当業者には、ある程度はその説明から容易に明らかであろうし、あるいは以下の詳細な説明、特許請求の範囲及び添付図面を含む本明細書に説明されるように本発明を実施することにより認められるであろう。

#### 【0022】

上述の一般的説明及び以下の詳細な説明はいずれも本発明の典型例にすぎず、

特許請求される本発明の性質及び特徴を理解するための概観ないし枠組を与えることに向けられていることは当然である。添付図面は本発明のさらなる理解を与えるために含められ、本明細書に組み入れられて本明細書の一部を構成する。図面は本発明の様々な実施形態を示し、記述とともに本発明の原理及び動作の説明に役立つ。

### 【0023】

#### 発明の詳細な説明

ここでは、本発明の好ましい実施形態を提示するため、添付図面に示される実施例を詳細に参照する。可能な限り全図面を通して同じ参照数字を同じかまたは同様の要素を示すために用いる。本発明のC P F回路の例示的实施形態を図1に示す。本実施形態においては、多重波長送信器モジュール2が波長分割多重化(WDM)信号パルスを第1の長さの円偏光ファイバ4に投射する(WDMネットワークに現在適する波長分割マルチプレクサ及びデマルチプレクサデバイスは、波長依存回折格子ルータ、リトロ回折格子、あるいはファブリーーペローまたはマッハーツェンダー干渉計に基づくものとすることができる)。WDMパルスは第1の長さのC P F 4を通過して進行した後、必要に応じて光増幅器6で増幅されて第2の長さのC P F 8に送られる。WDMパルスは、WDMデマルチプレックス操作を行って信号を目的地に配布する多重波長受信器モジュール10に到達するまで、必要に応じて光増幅器6が間に入る、第1の長さのC P F 4及び第2の長さのC P F 8を交互に通過して進み続ける。

### 【0024】

図1の光回路は、4WMによる信号損失を受けることなく、信号波長に近いゼロ分散波長 $\lambda_0$ を有するC P Fを含むことができる。C P Fを用いることによりS P M分散を低減できる。この回路は非ゼロ復帰、ゼロ復帰及びソリトン方式で動作させることができる。

### 【0025】

本発明の一実施形態において、送信器モジュールは図2に12で示されるN個のレーザ12を含む。レーザはWDMデバイス14のN個のポートに直線偏光を投射する。直線偏光の向きを90°変えるために、HWR18がレーザとWDM

14との間の光路16に1つおきに挿入される。偏光はWDMデバイス14を通して保持され、よってQWR20を通過すると隣接するチャンネルの信号は互いに逆回りの円偏光となってCPFに投射され、4WM損失が最小限に抑えられる。隣接チャンネル間での4WMはないであろうが、それでも1つおきのチャンネル間の4WMはある程度あり得る。しかし、相互作用する波長チャンネルの波長間隔がさらに大きくなるので、位相整合及び相互作用長がより小さくなる。すなわち、チャンネル密度はチャンネル間相互作用の弱化とトレードオフの関係になり得る。

#### 【0026】

別の送信器モジュールの実施形態が図3に示される。本実施形態においては、直線偏光レーザ光を円偏光に変換するQWR22を介して、N個のレーザ12がWDMデバイス14のポートに接続される。1つおきのQWRの速い軸を隣のQWRに対して90°回転させてあるので、隣接するチャンネルの信号の円偏光は互いに逆の向きになる。この結果、CPFリンクに投射される多重波長信号は図2に示される信号と実質的に同じである。波長範囲が広ければ、図3の構成を用いる方が図2の構成を用いるより有利になり得る。図2のQWRは、全波長を投射するのに十分な広い帯域をとることができない。図2及び図3の構成の実用上の利点は、いずれにおいてもQWRが光放射体（例えばレーザダイオード）とそれに続く光学系からの反射との間を隔離することである。

#### 【0027】

QWR及びHWRはバルク型光学板または技術上既知のその他のデバイスとすることができる。しかし好ましい実施形態は、QWR及びHWRが互いに逆回りのループにつくられた光ファイバを含む実施形態である。ファイバデバイスは光回路への導入がより容易であり、反射損失及び吸収損失が最小限に抑えられる。

#### 【0028】

タイプの異なる受信器モジュールの実施形態を図4、5及び6に簡略に示す。図4の実施形態において、光はリンクの最終CPF24からWDMデマルチプレクサ14の入力ポートに入る。分波された信号は導波路16を介して帯域通過フィルタ26に結合される。フィルタはN個の信号の内のそれぞれの1つをそれぞれの受信器28に送る。

**【0029】**

図5の実施形態は、信号対雑音比をさらに向上させるために偏光感应型受信器28を利用する。円偏光ははWDMデマルチプレクサ14に入る前にQWR20を通過する。すなわち、円偏光信号が直線偏光信号に変換される。HWR18がフィルタ26と偏光感应型受信器28との間の光路に1つおきに配置される。このHWRは偏光軸を90°回転させ、よって隣接するチャンネルは互いに直交する直線偏光を有する。

**【0030】**

図6の実施形態の受信器モジュールは、フィルタ26と偏光感应型受信器28との間の光路にQWRを利用する。隣接する光路のQWRの速い軸は互いに対して90°回転させられている。すなわち、1つおきの受信器が互いに逆回りの円偏光を有する信号を受信するので、受信器間のチャネルクロストークがさらに抑えられる。

**【0031】**

送信器モジュールの実施形態の議論で述べたように、図5及び6の受信器モジュール構成では伝送線路と受信器との間の隔離が与えられるという利点がさらに得られる。

**【0032】**

NOLMを用いるスイッチング素子を図7に簡略に示す。全ファイバ構成のNOLMは、図1の伝送リンクに特に適している。NOLMは本質的に伝送リンクに沿うどの点においても選択された波長をスイッチングするために用いることができる。

**【0033】**

NOLMは、一方の側にある2つのポート32がファイバ34のループに接続された、4ポート方向性結合器からなる。NOLMはループをまわる互いに逆の伝搬方向に対応する2つのアームを有する干渉計として作用する。この構成は、いずれのアームも正確に同じ光路を含むので非常に安定である。

**【0034】**

結合器が入力信号36を等しく分割すると、NOLMは完全ミラーとして作用

する。周波数または偏光が直交する制御信号38を加えることにより、NOLMは3端子スイッチとしても作用する。特に、制御信号38は結合器40によりNOLMに結合され、一方向にしかNOLMをまわって伝搬しない。制御信号38は非線形XPMにより前記方向に進行する入力信号36の位相をシフトさせる。したがって、制御パルス及び信号パルスの位相が結合器において一致すれば、NOLMから出力が得られる。この出力はXPMによる位相シフト量が $\pi$ のときに最大である。出力は位相シフト角の三角関数の二乗として変化することがわかっている。NOLMの効率は、少なくとも制御パルスと信号パルスが相互作用するループ部分にCPF44を用いることにより高められる。上で論じたように、XPM効果はCPFで強化され、この強化はCPFで相互作用するそれぞれの信号の偏光の相対関係に依存しない。すなわち、ループ長をより短くするか、または制御パルスの振幅をより小さくすることができる。

#### 【0035】

図1の伝送リンクに適合するスイッチの別の実施形態を図8に示す。直線偏光信号パルス36は、CPF4への投射の前に、QWR20により円偏光に変換される。CPFはこの偏光状態を保持し、よって偏光感应型結合器46に入る前に第2のQWR20がパルス36を直線偏光に変換する。結合器46は直線偏光信号パルス36を通し、また制御パルス38から1つの偏光成分を結合する。いずれのパルスも、結合器46の下流光路におかれたQWR20により円偏光パルスに変換される。信号パルス及び制御パルスは結合器46の下流のCPF4の長さにかけてXPFにより相互作用する。信号パルス及び制御パルスの円偏光の向きは、2つの信号が偏光感应型フィルタ48の直前のQWRにおいてそれぞれの偏光軸が互いに直交する直線偏光パルスに変換されるように、互いに逆方向に選ぶことができる。次いで偏光感应型フィルタ48は、信号パルスを通し、制御パルスを反射するように選ばれる。XPM相互作用の効果は図8の右側の、出力信号パルス50を時間軸52上に示す挿入図により示される。XPM相互作用は信号パルス50をある特定のクロックウインドウの外に動かし、よってデジタルシステムにおいてビット1をビット0に変えるのに十分な強さとすることができる。

#### 【0036】

技術上既知のいくつかの方法のいずれかにより、C P F 導波路をつくることができる。例えば、適切な参考資料はホーク(Hawk)の米国特許出願第09/117,280号であり、この全てが本明細書に参考として含まれる。全般的にこの参考資料は、中程度の複屈折を有するファイバをつくるために構成されたプリフォームから出発するC P F 作製方法を述べている。線引きプロセス時にプリフォームまたはファイバ自体をねじることによりファイバにツイストが入れられる。例えば線引きトラクターにファイバの長軸のまわりで左右にスピンをかけて、ファイバ軸の単一周期のツイストを導入することにより、ファイバにツイストを入れることができる。円偏光複屈折が直線偏光複屈折より支配的であるためには、ツイストピッチがファイバのビート長より短くなければならない。

#### 【0037】

中程度の複屈折を有するファイバは $\Delta n$ が約 $10^{-5}$ のファイバであり、ここで $\Delta n$ は速い軸と遅い軸との間の屈折率差である。この複屈折レベルは、例えば、コアをやや楕円形につくるか、非一様な半径方向応力をファイバに印加することにより容易に誘起される。

#### 【0038】

##### ツイストファイバを組み込んだNOLMスイッチの実施例

光通信回路及びデバイスにおけるC P Fの予測効率を図9に簡略に示すNOLMスイッチを用いて試験した。1535nmの信号パルス38を50/50結合器を介して投射し、ループミラーをめぐって互いに逆方向に伝搬させた。制御パルスを偏光化して偏光感応型結合器40によりループに投射し、下流の偏光感応型結合器40により抜き取った。この抜取方法は、信号パルスと制御パルスの相対偏光状態がX P M相互作用に影響しないので、最も有用である。制御パルスと信号パルスはある長さの導波路ファイバ54を含むループの頂部区間でX P Mにより相互作用した。NOLMによりスイッチングされた1535nmの出力パルスの強度を測定することによりスイッチング効率を評価した。上で論じた図7の33と同様の、逆まわり多重ループファイバ偏光コントローラ56を信号出力が最大になるように調節した。

#### 【0039】



ファイバ54としてツイストファイバを用いて、次いで非ツイストファイバを用いて実験を行った。結果を図10のグラフに示す。曲線58は、前記長さのファイバ54にツイストが入れている場合の、出力信号強度の変動を入力信号36の偏光角の関数として示す。曲線58は、ツイストファイバを用いたときにスイッチが偏光角に実質的に依存しないことを示す。0°から200°までの偏光角変化にかけてわずか0.6 dBの強度変動しか見られなかった。

#### 【0040】

前記長さのファイバ54が非ツイストファイバである場合には、出力強度は図10の曲線60にしたがうことがわかった。0°から200°までの偏光角範囲にわたり、信号出力強度変動は約5 dBである。CPFの使用により、1桁程度のNOLM効率改善が得られる。XPMの偏光角無依存性はCPFにおける効果の2倍の強化とともに、光通信リンク及びそのようなリンクに付帯する光回路で有用である。

#### 【0041】

図11に示すグラフは、入力信号の偏光状態の変化に対する、ツイストファイバ及び非ツイストファイバによる%非線形透過率を示す。偏光状態を、直線偏光信号については上向き及び下向きの矢印で、また2つのタイプの円偏光については右回り及び左回りのループで、グラフの上下に示す。8ターン/mのツイストを有するCPFは全ての偏光状態に対して約0.05%の非線形信号透過率変動を曲線62で示す。非ツイストファイバについては、約0.3%の変動(図11の曲線64)が同じ入力信号の偏光状態変化に対して測定された。ここでもまた非ツイストファイバに比較して1桁の偏光不感性改善がCPFにより得られる。

#### 【0042】

図12の実験データのグラフは、偏光不感性が1 m当りの軸ツイスト数に依存することをデータ点66で示す。一般に、約6ターン/mより大きなツイスト率で良好な結果が期待できる。

#### 【0043】

非線形現象におけるCPFの有用な特徴に加えて、実用上重要な、CPFの注目すべき線形特性も数多い。第1に、CPFは外乱の多くに対して強いと思われ

るので、CPDの包装及び梱包がより簡単である。例えばファイバの布設における経験から、直線偏光複屈折ファイバに比べてCPFに導入される乱れが少ないことが分かっている。この特徴は、外囲が小さいときのようにスペースが限られている場合に用いられる光回路で有用であり得る。第2に、CPFは2つの偏光モード間のモード結合を導入せずに永久接続できることが、“エレクトロニクス・レターズ(Electron. Lett.)”誌、第16巻(1980年)921ページの、ヨインホム(Jeunhomme)等の、“偏光保存単一モードケーブルの設計”で示されている。特に直線偏光複屈折ファイバでは、高い偏光消光比を維持するために、接続される2本のファイバの複屈折軸の正確なアライメントが接続部が必要である。永久接続部におけるクロスカップリングは入りファイバの所望の偏光状態と出ファイバの望ましくない偏光状態との間の重なり積分に正比例する。CPFについては右回りと左回りの円偏光の間の重なり積分が常にゼロであるから、2本のファイバがどの向きであっても、接合部におけるクロスカップリングは常にゼロであろう。したがって、永久接続においてファイバの方向合わせを行う必要が全くなしに、偏光保存伝送線路を様々なCPF区画で構成することができる。

#### 【0044】

要約すれば、CPFにより伝送リンク及び付帯する光成分に与えられる利点は以下のように述べることができる。一方の光波がもう一方の光波に位相シフトをおこさせる相互作用を非線形屈折率を介して行う相異なる波長の2つの光における信号に関する全般的問題は、CPFを用いることで最善に解決される。この非線形相互作用は、XPMが、2つの光波の入力偏光状態が平行すなわち同じであるとき(XPM<sub>||</sub>)と2つの光波の入力偏光状態が垂直すなわち直交するとき(XPM<sub>⊥</sub>)とで同じであるから、これらの光波の入力偏光状態に依存しない。

#### 【0045】

さらに、非線形相互作用を用いるデバイスが干渉計であれば、出力結合器またはビームスプリッタにおいて干渉が完了しているためには干渉計のそれぞれのアームを通る2本のビームが同じ偏光状態で終わらなければならない。一般には、1本のビームに、あるいはいずれのビームにも偏光コントローラ(PC)を用いることで上記条件を満足することができる。しかし、PCは環境変化を補償する

ための定期的な調整が必要となり得るから、PCの使用は望ましくない。CPFを用いて干渉計の2つのアームが同じ偏光状態を保持することを保証すれば、PCの使用を避けることができる。

#### 【0046】

円偏光導波路ファイバ(CPF)の使用により、SPM効果が直線偏光ファイバに比べ約2/3だけ小さくなることが示された。さらに有利なことには、互いに逆回りの光波(左回り及び右回りの円偏光)の間には4WMが存在しない。事実上、互いに逆回りの円偏光を有する投射信号には非線形4WMがない。この場合、ゼロ分散波長近くでの動作に対する4WM損失はない。

#### 【0047】

CPFは偏光保存ファイバであるから偏光モード分散(PMD)も減少する。

#### 【0048】

CPFの使用により、XPM効果が直線偏光複屈折ファイバに比べて約2倍に高められる。XPMの強化はスイッチングデバイスに有用であるが、WDM伝送リンクにクロストークを生じさせ得る。しかし、そのようなリンクで有害なXPMは、適切なチャンネル間隔をとることにより、すなわちXPM分散により互いに完全にウォークスルーするようにチャンネルを配置することで、最小限に抑えることができる。

#### 【0049】

CPFを使用してさらに効率を高めることができるスイッチの例は、非線形光ループミラーまたはソリトンドラッグ及びソリントラップ論理ゲートである。これらのスイッチはスイッチング機能を行うためにXPMを利用するから、これらのデバイスにCPFを用いることにより、直線偏光複屈折ファイバを用いて実施した同じデバイスに比べてスイッチングエネルギーが2分の1あるいは導波路ファイバ長が2分の1のスイッチングが得られる。

#### 【0050】

CPFは高性能システムにおいて光-光スイッチに要求されるサブピコジュールのスイッチングエネルギーへの到達を可能にする鍵を握る技術の1つである。

#### 【0051】

当業者には、本発明の精神及び範囲を逸脱することなく本発明の様々な改変及び変形がなされ得ることは明らかであろう。よって、本発明の改変及び変形が特許請求の範囲及びその等価物の範囲内に入るものであれば、本発明はそれ等を含むとされる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

CPFを用いる多重チャネル伝送リンクの略図

【図2】

送信器モジュールの構成の略図

【図3】

送信器モジュールの別の構成の略図

【図4】

受信器モジュールの構成の略図

【図5】

受信器モジュールの別の構成の略図

【図6】

受信器モジュールのまた別の構成の略図

【図7】

CPFを用いるNOLMスイッチの略図

【図8】

CPFを用いる偏光結合スイッチの略図

【図9】

CPFを用いるNOLMスイッチを試験するための実験回路の略図

【図10】

ツイストファイバ（CPF）を非ツイストファイバと比較する実験結果のグラフ

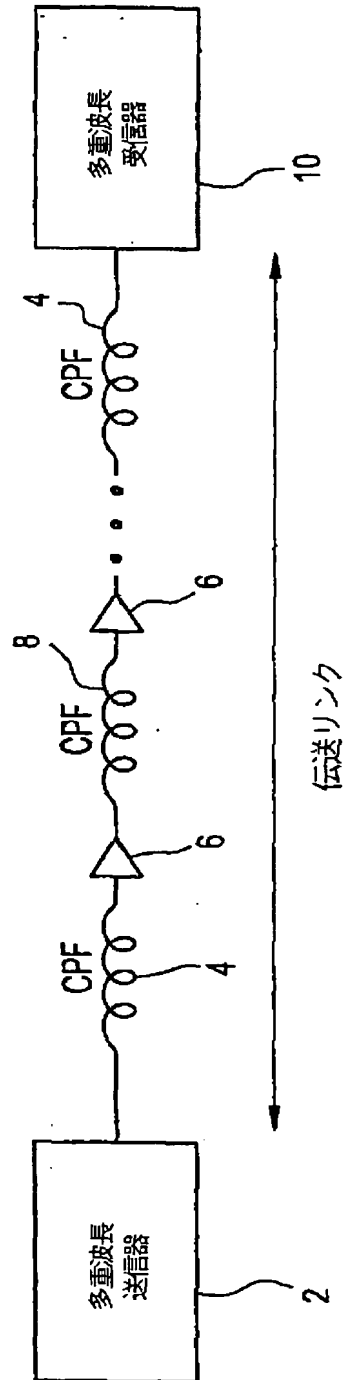
【図11】

ツイストファイバ（CPF）を非ツイストファイバと比較する実験結果のグラフ

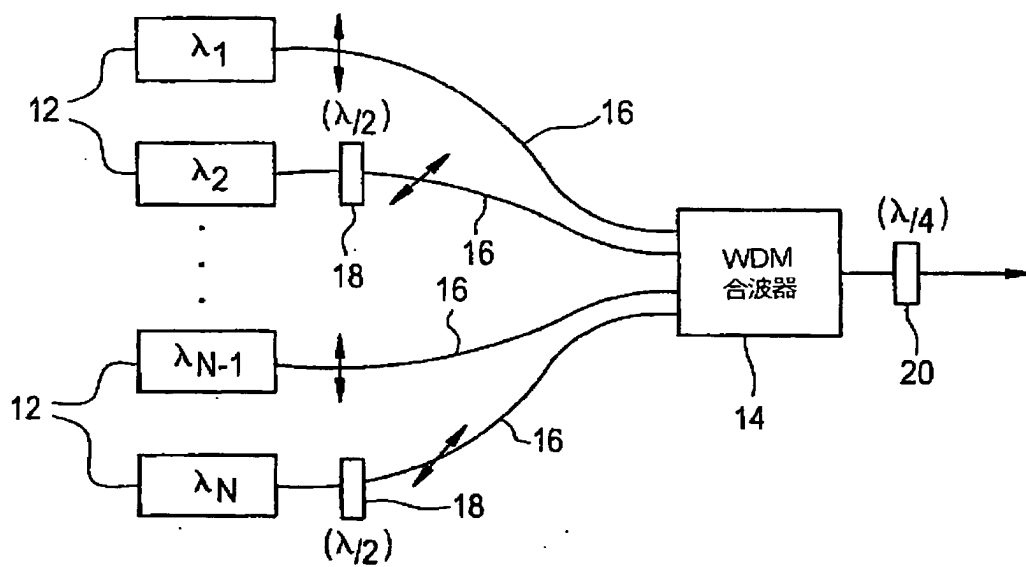
【図12】

偏光感度対CPFのツイストピッチのグラフ

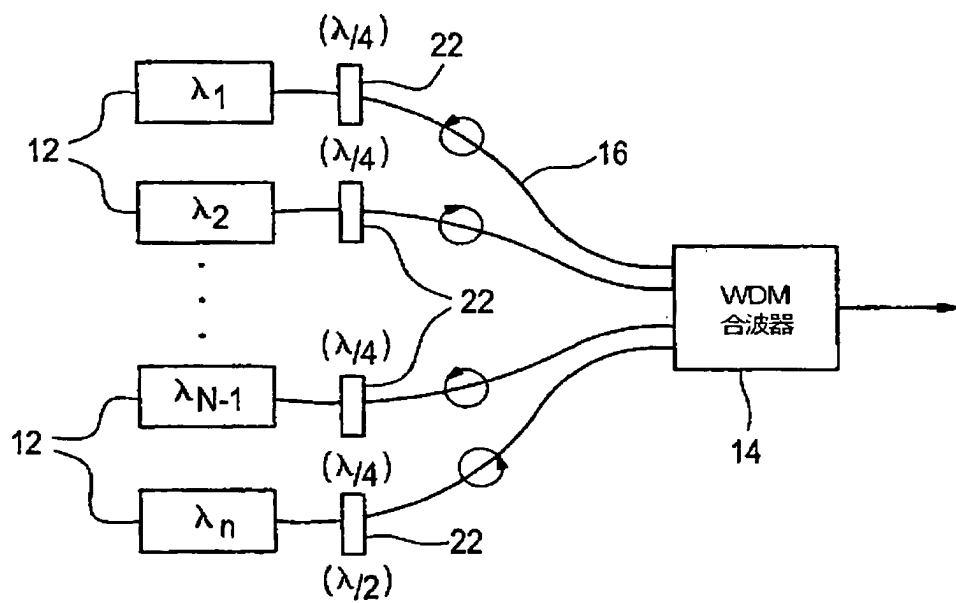
【図1】



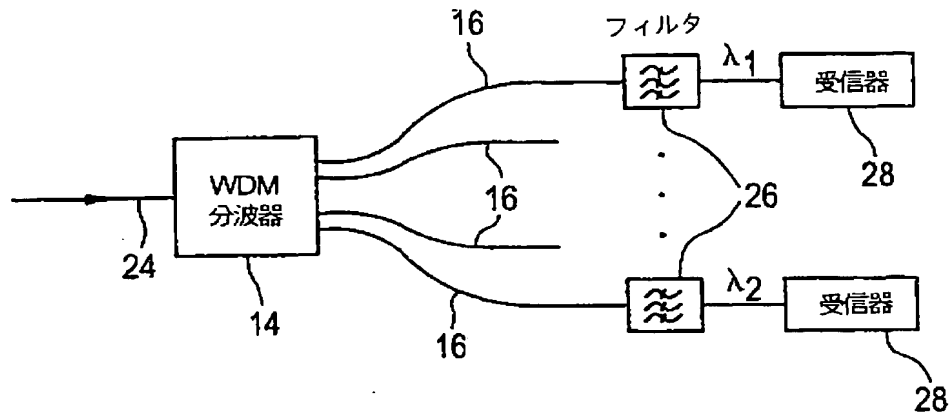
【図2】



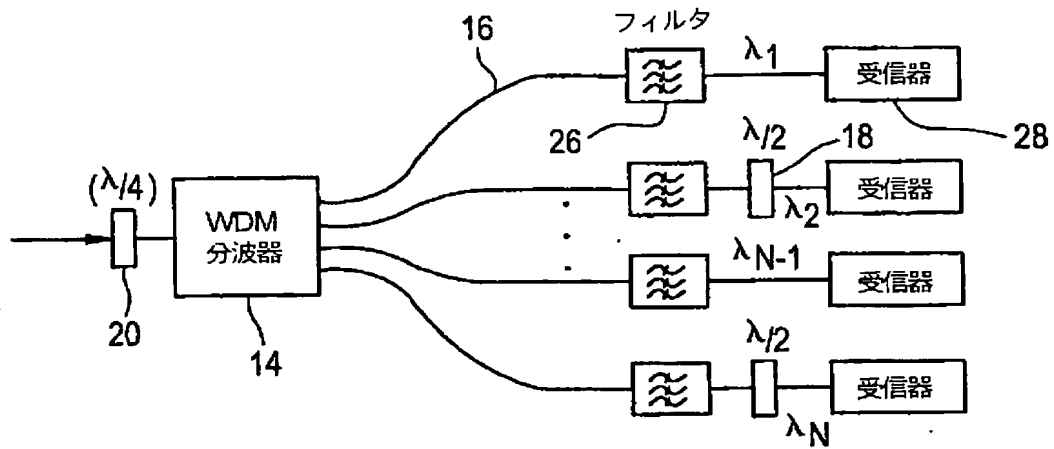
【図3】



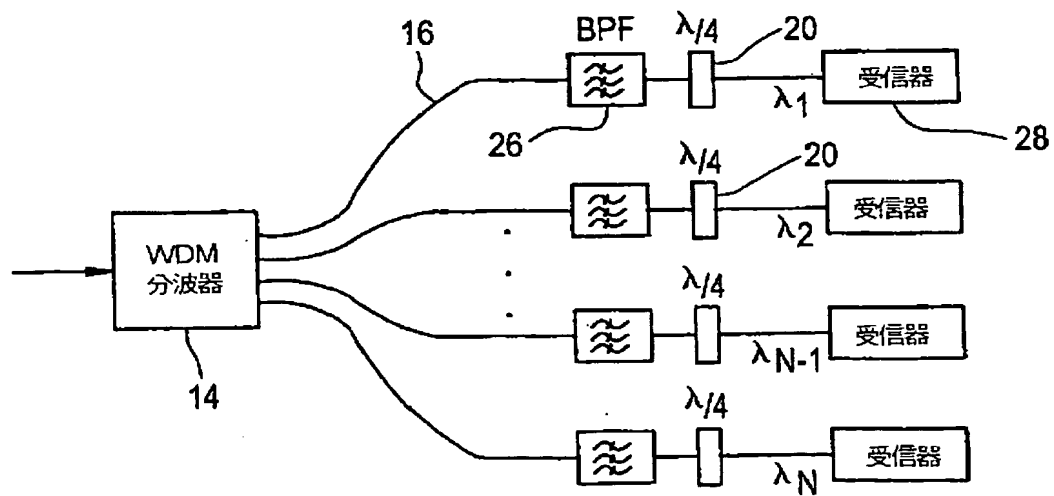
【図4】



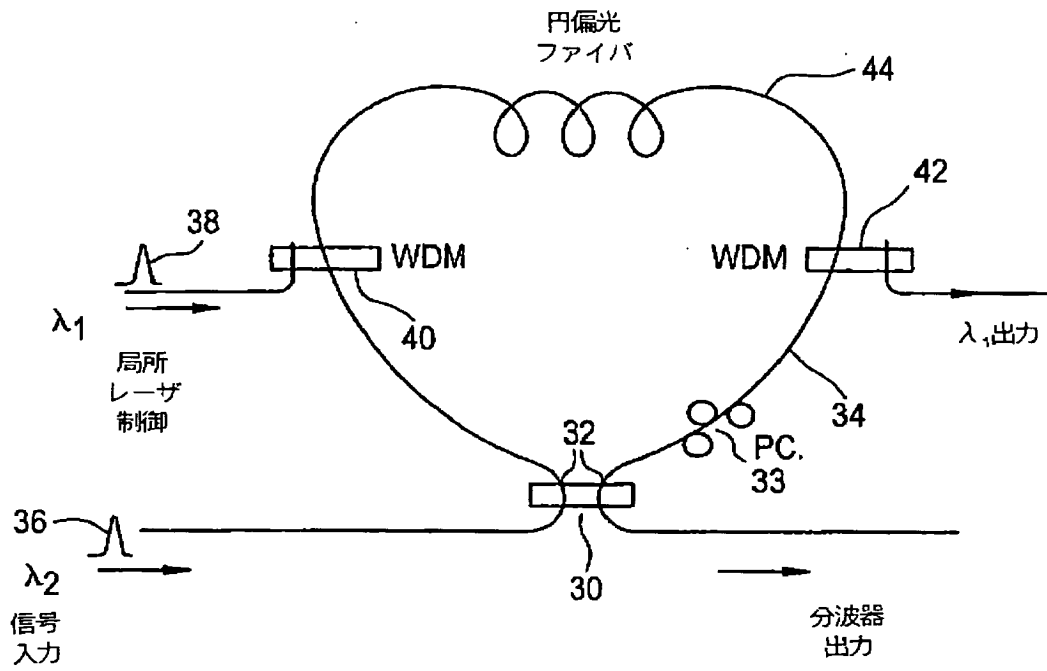
【図5】



【図6】

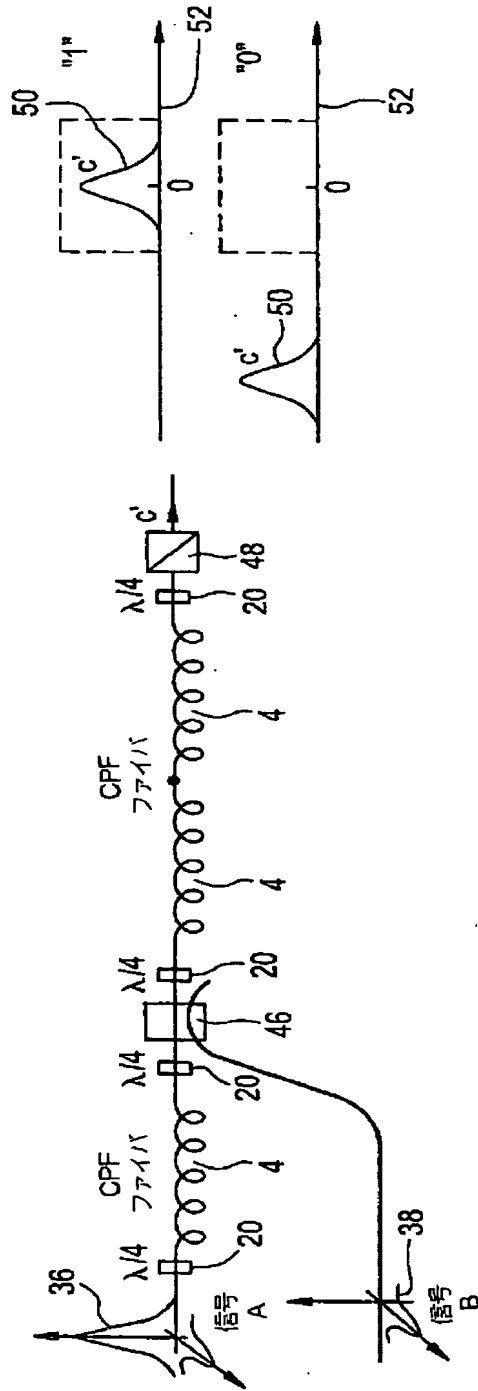


【図7】

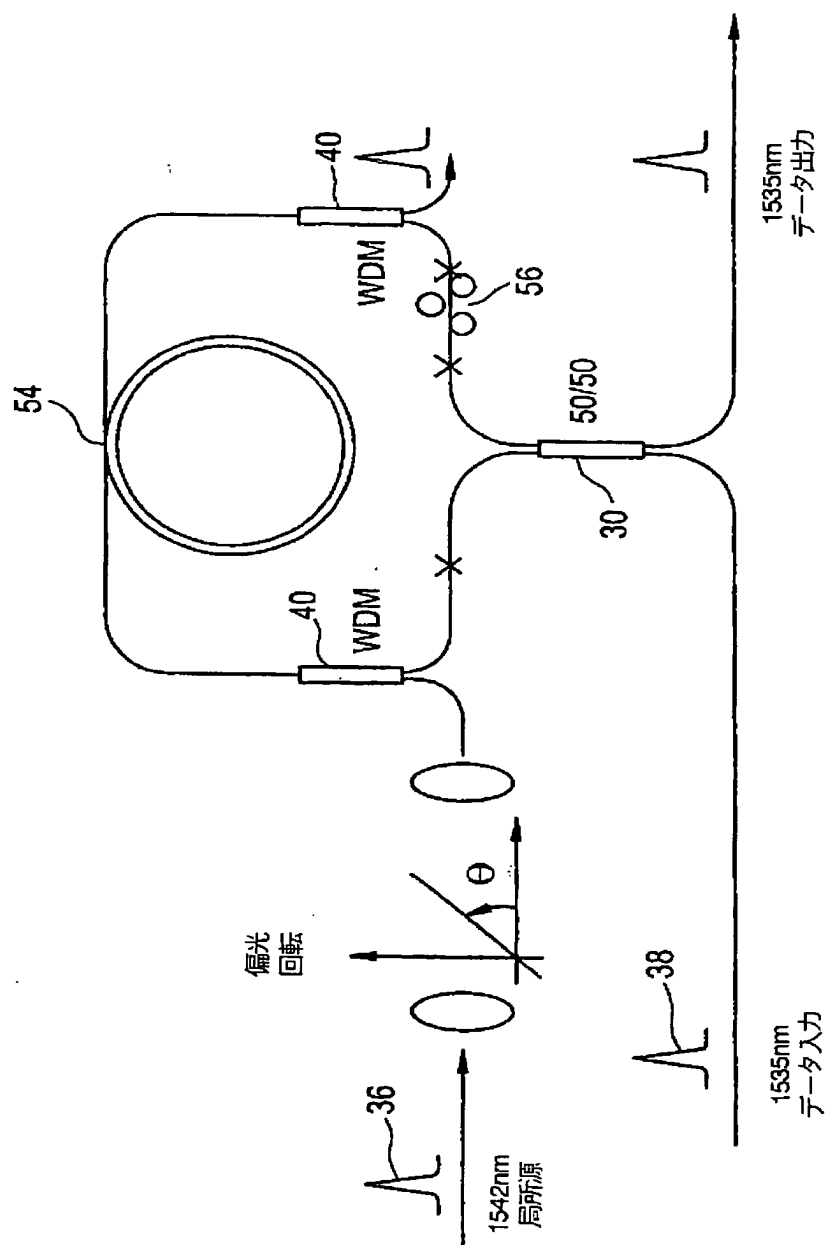




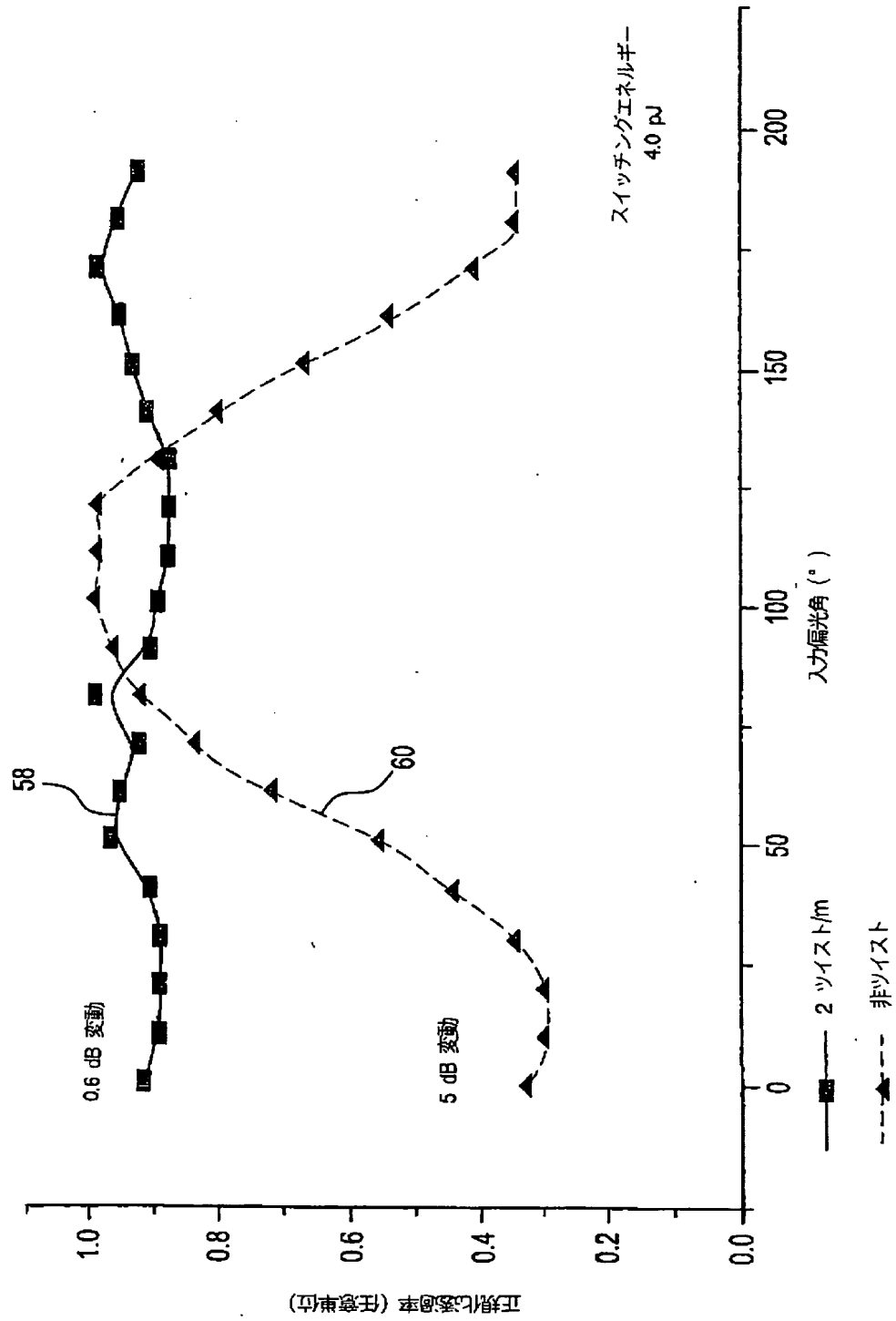
【図8】



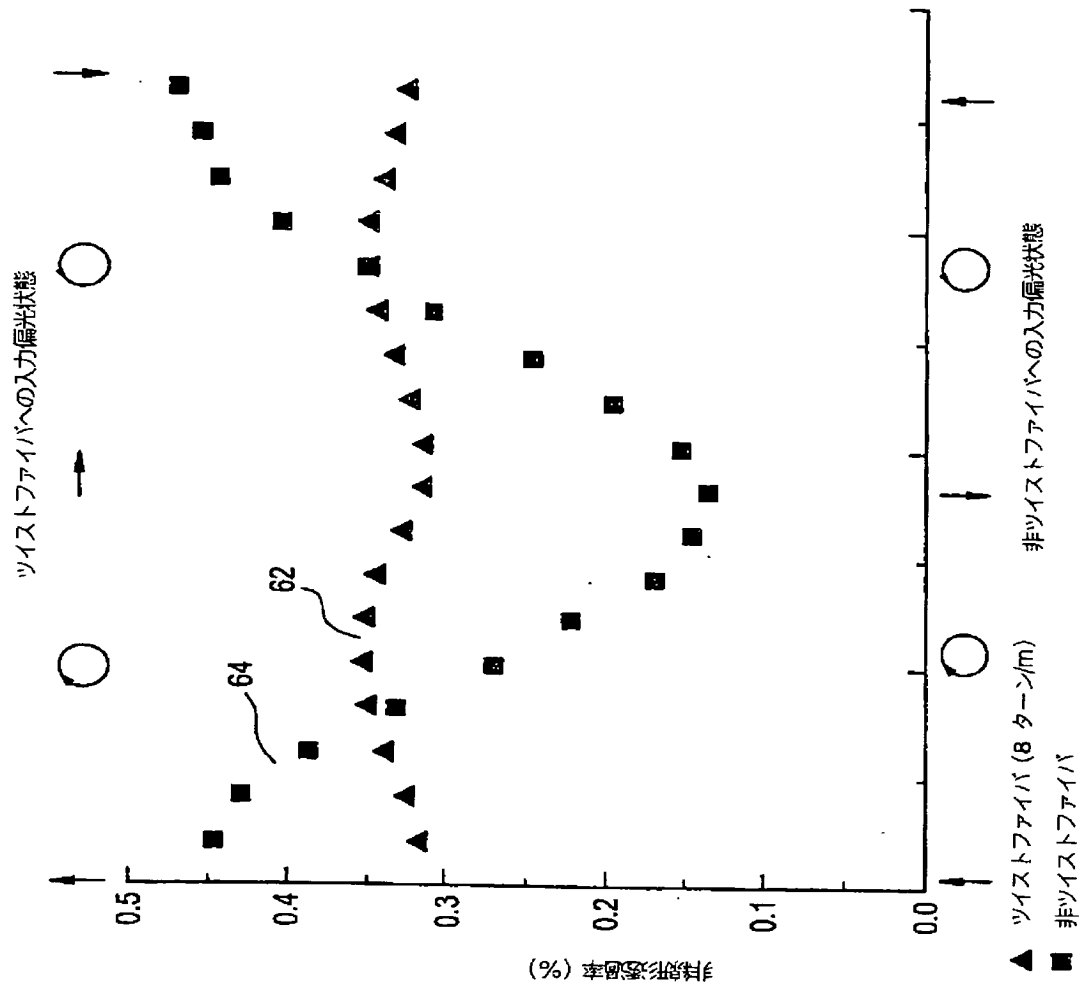
【図9】



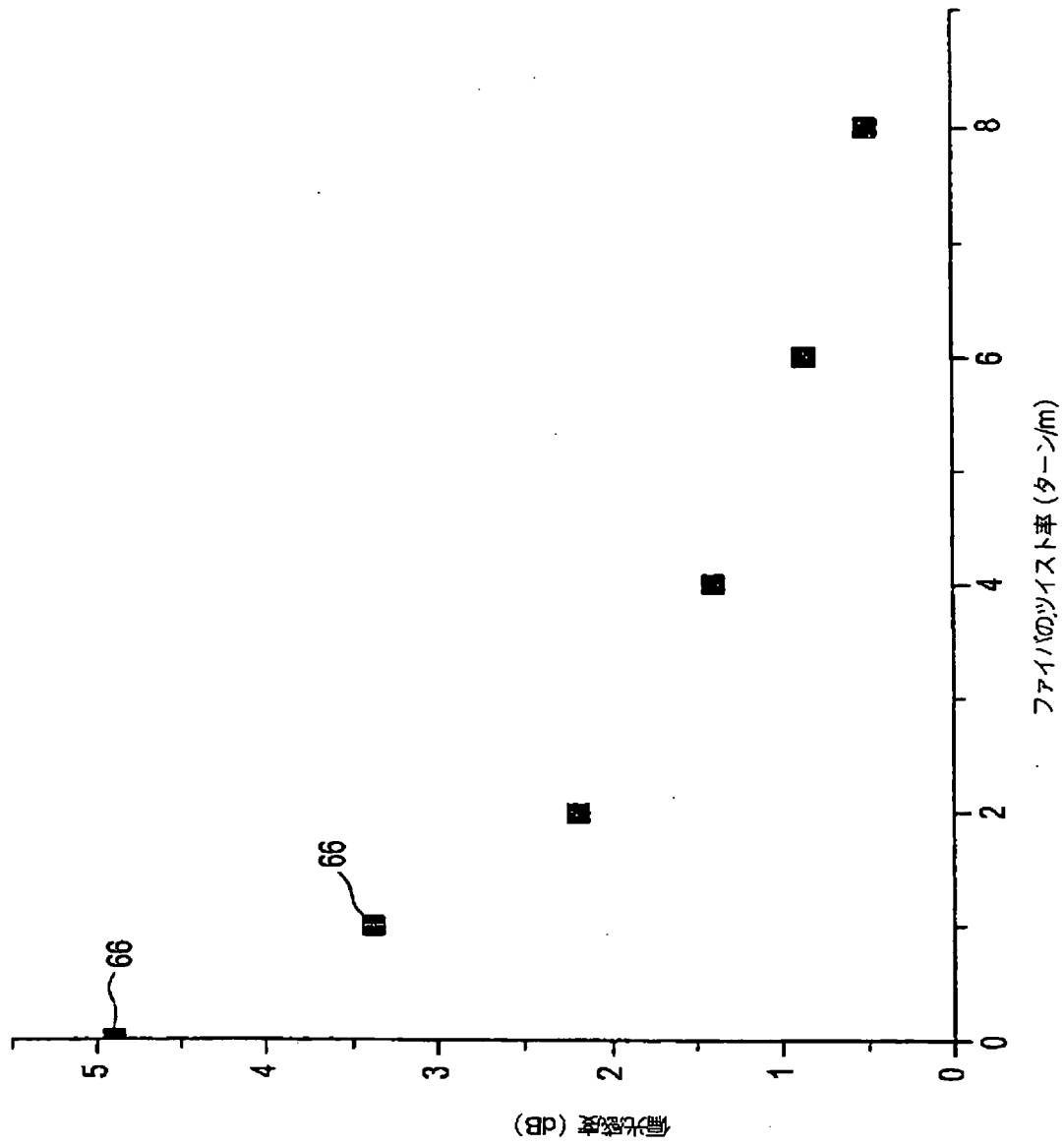
【図10】



【図11】



【図12】



## 【国際調査報告】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 G02B6/10 G02F1/35 H04J14/02		Int. Application No PCT/US 99/20473
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 G02B G02F H04J		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EP0-Internal, INSPEC, WPI Data, PAJ, COMPENDEX		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 452 394 A (HUANG HUNG-CHIA) 19 September 1995 (1995-09-19) column 3, line 30 -column 4, line 8; figure 1	1-5 6-13
A	RASHLEIGH S C: "Origins and control of polarization effects in single-mode fibers" JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, JUNE 1983, USA, vol. LT-1, no. 2, pages 312-331, XP002125684 ISSN: 0733-8724 page 323 -page 324	1-5
A	US 4 515 436 A (HOWARD RICHARD E ET AL) 7 May 1985 (1985-05-07) column 3, line 61 -column 4, line 25	2
-/--		
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "Z" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 17 February 2000		Date of mailing of the international search report - 9. 03 2000
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3018		Authorized officer Lord, R

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. Patent Application No.

PCT/US 99/20473

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4 427 717 A (GAUTHIER FRANCIS) 24 January 1984 (1984-01-24) column 1 ---	1
A	EP 0 582 405 A (AMERICAN TELEPHONE & TELEGRAPH) 9 February 1994 (1994-02-09) column 1 -column 3 ---	1-5
A	US 5 587 791 A (BELLEVILLE CLAUDE ET AL) 24 December 1996 (1996-12-24) column 15, line 55 -column 16, line 14 ---	1-5
X	FERRO P ET AL: "PHASE CONTROL OF A NONLINEAR COHERENT COUPLER: THE MULTI-BEAT-LENGTH TWISTED BIREFRINGENT FIBER" APPLIED PHYSICS LETTERS,US,AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, NEW YORK, vol. 64, no. 21, 23 May 1994 (1994-05-23), pages 2782-2784, XP000449611 ISSN: 0003-6951 page 2782; figure 1 ---	14-16, 19,20
A	---	17,18
A	CHEN C -J ET AL: "SOLITON SWITCH USING BIREFRINGENT OPTICAL FIBERS" OPTICS LETTERS,US,OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, vol. 15, no. 9, 1 May 1990 (1990-05-01), pages 477-479, XP000126536 ISSN: 0146-9592 the whole document ---	14-20
A	EP 0 635 739 A (AT & T CORP) 25 January 1995 (1995-01-25) the whole document -----	17,18

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/US 99/26473**Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of Item 1 of first sheet)**

This International Search Report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to parts of the International Application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful International Search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(e).

**Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of Item 2 of first sheet)**

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

see additional sheet

1. ☒ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this International Search Report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
- ☒ No protest accompanied the payment of additional search fees.



International Application No. PCT/US 99/20473

## FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/BA/ 219

This International Searching Authority found multiple (groups of) inventions in this international application, as follows:

1. Claims: 1-13

Circularly polarised fibre with beat length greater than twist pitch for reducing non-linear effects, and wavelength multiplex transmission system using the fibre

2. Claims: 14-28

Optical switch including circularly polarised fibre, provides enhanced cross phase modulation interaction

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/US 99/20473

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5452394	A	19-09-1995	NONE	
US 4515436	A	07-05-1985	DE 3484964 A EP 0118192 A JP 1842246 C JP 59148005 A KR 9100718 B	02-10-1991 12-09-1984 12-05-1994 24-08-1984 31-01-1991
US 4427717	A	24-01-1984	FR 2515693 A DE 3270287 D EP 0078733 A JP 58088135 A	06-05-1983 07-05-1986 11-05-1983 26-05-1983
EP 0582405	A	09-02-1994	US 5298047 A CA 2098747 A,C CN 1083449 A,B DE 69327823 D DE 69327823 T DK 582405 T JP 2981088 B JP 6171970 A MX 9304583 A US 5418881 A	29-03-1994 04-02-1994 09-03-1994 16-03-2000 27-07-2000 13-06-2000 22-11-1999 21-06-1994 28-02-1994 23-05-1995
US 5587791	A	24-12-1996	AT 166723 T AU 3467695 A WO 9610187 A DE 69502729 D DE 69502729 T EP 0783701 A	15-06-1998 19-04-1996 04-04-1996 02-07-1998 11-02-1999 16-07-1997
EP 0635739	A	25-01-1995	DE 69423548 D DE 69423548 T JP 7154374 A US 5646759 A	27-04-2000 14-09-2000 16-06-1995 08-07-1997

フロントページの続き

(81)指定国 EP(AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, UZ, VN, YU, ZW

(72)発明者 イスラム, モハメド エヌ  
アメリカ合衆国 ミシガン州 48103 ア  
ン アーバー ホリーヨーク レイン  
2717

(72)発明者 ノーラン, ダニエル エイ  
アメリカ合衆国 ニューヨーク州 14830  
コーニング スカイライン ドライヴ  
28

Fターム(参考) 2H050 AA08 AC09 AC47 AC50 AC73  
AC81 AD00  
2K002 AA02 AB13 BA02 CA15 DA07  
DA08 DA10 HA16  
5K002 AA06 BA06 BA33 CA01 DA02  
DA31 FA02

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**